

# 산학협력실 운용을 통한 수자원 연구과제 개발



**이 종 석 |**  
한밭대학교 교수  
ljs96@hanbat.ac.kr



**한 재 명 |**  
(주)한길 기술고문  
hjm6550@hanmail.net



**김 민 정 |**  
한밭대학교 석사과정  
redsunx@hanmail.net

침식방지를 위한 대책으로 양빈, 직립호안제, 사석제, 테트라포드(TTP), 이안제 등의 구조물을 시공하고 있으나, 특별한 효과가 입증되지 않았으며 심지어 예상치 못했던 다른 피해를 유발시키고 있는 실정이다(해양수산부, 2005). 이로 인해 우리나라뿐만 아니라, 세계의 여러 해안이 침식현상으로 많은 피해가 발생되고 있다. 이는 단순한 국토의 손실 외에 연안 침식으로 인해 백사장 등이 사라짐에 따라 파의 내습 속도가 빨라지게 되고 그 결과로 배후지역 등의 시설 피해가 보다 심각하게 발생할 수 있다.

따라서, 본고에서는 이와 같은 문제점들을 해결하고자 저자들이 산학협력실을 운용하여 연구개발과제를 수행하게 되었고, 이를 통해 개발 중인 친환경 해수유통 호안 구조물과 협력기업의 기 개발제품에 대한 성능실험 및 활용성 검토결과에 대해 기술하고자 한다.

## 1. 서론

삼면이 바다로 둘러 싸여 있는 우리나라는 해안선 주변에 3,400여개의 크고 작은 섬들이 있으며, 섬을 포함한 해안선의 총 길이는 17,300여km에 달한다. 우리나라는 이와 같이 긴 해안선을 갖고 있으나 매년 지구 온난화 현상에 의한 해수면 상승과 해사채취, 난개발 등에 의한 공급토사의 수지불균형으로 인해 연안침식의 피해가 전 해안에 걸쳐 확대 진행되고 있는 실정이다. 연안역은 다양한 생물의 서식과 함께 인간의 친수 활동에 이용되는 중요한 공간이므로 유실의 방지는 물론, 고조·월파로 인한 재해방지, 환경보전을 위해 침식을 방지하여야 한다.

## 2. 산학협력실 운용

### 2.1 산학협력실

산학협력실은 중소기업청에서 대학소재 인근지역의 중소기업체와 대학교수간에 공모를 통해 협력체제를 구축하고 연구교수의 책임 하에 대학의 주요 연구인력·장비 등을 활용하여 공동 연구후 특허출원을 목적으로 하는 기술개발과제이다. 저자들은 2006년 8월부터 2008년 7월까지 2년 동안 운용하게 된다. 과제명은 “해안침식 방지용 해수유통 구조물의 개발”이고, 산학협력실은 중소기업체인 충청남도예 소재하는

(주)한길과 책임연구교수가 소속된 대전광역시 소재 한밭대학교 수자원해양실�험실 간에 산학협력 체계를 구축하여 운용된다. 본 산학협력실은 우리나라 해안에서의 침식·세굴 및 퇴사문제를 해결하고, 해안선을 보호·유지함에 기여함은 물론, 어류의 보호, 해

안 주변의 환경보전에 기여할 수 있는 환경친화형 해안보호 호안블럭을 개발·제품화·사업화함을 목적으로 한다. 산학협력실의 연구원은 표 1과 같이 대학측에서 1, 2차년도 각각 연구책임교수 외에 학부생 4명과 대학원생 2명, 기업측에서 연구실장 1명과 연구

표 1. 연구인력 구성현황

기간	소속기관	직급	성명	전공	학위	기간	소속	직급	성명	전공	학위
1차 년도	한밭대학교	부교수	이종석	수공학	공학박사	2차 년도	한밭대학교	교수	이종석	수공학	공학박사
	한밭대학교	석사과정	서주석	수공학	공학사		한밭대학교	석사과정	우승식	수공학	공학사
	한밭대학교	석사과정	김기철	수공학	공학사		한밭대학교	석사과정	윤성준	수공학	공학사
	한밭대학교	학사과정	박지원	토목공학	3년제		한밭대학교	학사과정	박지원	토목공학	4년제
	한밭대학교	학사과정	서재열	토목공학	3년제		한밭대학교	학사과정	임진택	토목공학	3년제
	한밭대학교	학사과정	장경태	토목공학	3년제		한밭대학교	학사과정	홍종우	토목공학	3년제
	한밭대학교	학사과정	최용근	토목공학	3년제		한밭대학교	학사과정	유지연	토목공학	3년제
	(주)한길	연구실장	차재영	토목공학	기업책임		(주)한길	연구실장	차재영	토목공학	기업책임
	(주)한길	연구원	박수진	토목공학	공학사		(주)한길	연구원	박수진	토목공학	공학사
	(주)한길	연구원	김민정	수공학	대학원재		(주)한길	연구원	김민정	수공학	대학원재

표 2. 주요 활용 기자재 구비현황

기자재명	규격	수량	구입년도	가격(천원)	용도
전자파 표면 유속계	KST VMX 142000	1	1999	24,600	홍수시 유속측정
2차원 마그네틱 유속계	Valeport, UK/801	2	1996	15,889	실험실, 하천 유속 측정
1차원 프로펠러 유속계	Valeport, UK/106	3	1991	2,128	하천 유속 측정
유사량 측정기	Argus,DE/ASM-IV	1	2001	24,299	해안, 하천 유사량 측정
다목적 개수로 실험장치 (3D음파 유속계, 자기 수위계)	W0.4×H0.4×L12m	1	1998	86,443	각종 수리 모형실험(개수로 유속·수위측정)
수문종합측정장치 (자기 유량계, 풍속계·온습도계)	JP/Oraisis-34	1	1999	55,700	각종 수문기상자료(강우·온습도·풍향속 측정)
관만곡손실 실험장치	TQ, UK/H4	1	1982	2,418	관로내 손실수두 측정
유체마찰측정 실험장치	EH-FF-2000P	1	2005	6,850	관로내 손실수두 측정
레이블즈 실험장치	EH-RN-1500	2	1997	4,200	흐름 상태 구분
벤츄리미터	TQ, GB/TEC-H5	1	1982	3,811	관로내 유량측정
연직 오리피스미터	EH-HT-H4	2	1997	6,600	유량측정
개수로 유량측정장치	TQ, UK/H12	1	1983	8,223	개수로내의 유량측정
다용도 순환탱크	EH-HT-140	1	2005	5,530	일정수두 유량공급
수리실험대	EH-HB-140(L)	3(2)	1997('05)	160,110	소형 수리실험 장비 설치
베르누이정리 실험장치	EH-BT-50A	1	1998	10,670	에너지 보존 원리 실험
유사이송 측정장치	EH-STC-1510	1	1997	4,500	소형 수로내 유사이송 모의
분사충격 실험장치	EH-JIM-M8	2	1997	3,800	역적·운동량 방정식 응용
유량측정 비교실험장치	EH-F-H10	2	1999	5,800	유량측정

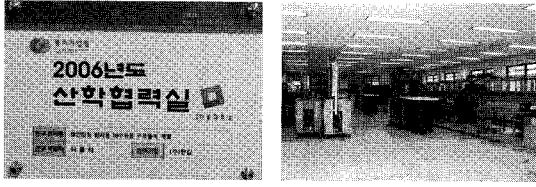


그림 1. 산학협력실·실험실

원 2명으로 구성하였다.

또한 대학내의 본 연구에 활용되는 주요 기자재는 표 2와 같고, 산학협력실·실험실(면적 : 326m<sup>2</sup>)은 그림 1과 같다. 협력기업인 (주)한길은 정부로부터 유망중소기업으로 지정된 업체이고, INNO-BIZ·벤처기업이며, 최근 수년간에 어류보호용 콘크리트 수로관, 프리캐스트 철근콘크리트 암거, 어도용 낙차공, 조립식 수로관 등의 기술개발로 사업실적이 우수한 중소기업체이다. 특히, 2005년부터 3년간 대한토목학회 학술발표 기간동안 실시되고 있는 전시회를 통해 자사의 개발제품 등을 홍보한 바 있다(표 2 참조).

## 2.2 협력기업

협력기업인 (주)한길은 충청남도 부여군 초촌리 신암리 1-12번지에 소재하고, 1994년 6월 10일에 설립되었다. 2007년말 현재로 연구원 3명을 포함하여 직원 46명이 근무중이고, 제조업을 주로 하는 중소기업이며, 철근콘크리트 벤치플룸관, 한전맨홀, 전력구, 해안 소파 구조물 및 MF환경수로관 등을 생산한다. 협력기업은 KS표시인증·ISO·INNO-BIZ·GQ마크 인증을 획득하였고, 조달청 우수제품·유망중소기업으로 지정되었으며, 회사가 보유하고 있는 주요 지적재산권과 기자재 현황은 각각 표 3 및 표 4와 같다.

## 3. 산학협력실을 통한 제품개발

### 3.1 제품개발의 개요

본 과제에서 개발하고자 하는 제품의 범위는 해안

표 3. 지적재산권 보유현황

구분	지적재산권명	인증·등록번호	시기
특허	조립식 수로관	0475748	2005.03.02
특허	소파블럭	0475753	2005.03.02
특허	폐탈진 촉매로부터 바나늄, 텅스텐, 티타늄 성분의 분리 회수기술	0573004	2006.04.24
특허	자연친화형 S형 웅벽수로 외	1020060035441	2006.04.19
실용신안	토사유실 방지용 호안블럭	0383918	2005.05.02
실용신안	환경친화형 친수호안블럭 외	0390876	2005.07.18
NEP	수로관(자연친화형 MF환경수로관)	NEP-1735(KT)	2006.01.01

표 4. 연구기자재 보유현황

기자재명	규격	수량	구입년도	가격(천원)	용도
압축강도시험기	300tf	1식	2002	65,000	압축강도시험기
만능재료시험기	100tf(4단)	1식	1996	18,000	인장, 강도시험용
휨강도시험기	100tf	1식	1998	12,000	휨강도시험용
굵은 골재시험기	220V, 0.4KW	1식	1996	5,000	굵은 골재시험용
잔골재시험기	220V, 0.4KW	1식	1996	5,000	잔골재시험용
휨강도시험몰드	15×55cm	1식	1996	1,500	시험몰드
기타	(30종)	1식	1996	25,000	각종시험기

을 보호하고, 해안침식을 방지할 수 있으며, 해수를 원활히 유통시킬 수 있는 기능을 갖춘 구조물이다. 원료와 자재는 자사에서 개발한 내해수성을 가지면서 내염해성이 우수한 콘크리트가 제품개발에 사용되며, 이는 일반 콘크리트 제품보다 강도가 높기 때문에 타 제품보다 설계기준강도를 비교할 때 환경보전성이 뛰어난 제품의 생산이 가능하다. 본 제품의 용도는 해안침식을 발생시키는 파랑을 줄이는 소파효과가 기대되는 제품들보다 우수하며, 주변경관과 조화를 이룰 수 있도록 축조·시공함으로써 친수공간을 확보·조성할 수 있는 장점이 있다.

본 제품은 철근콘크리트용 봉강, PC봉강, 콘크리트 화학 혼화제, 철근콘크리트용 방청제 등의 시방서 규격을 엄격히 준수함은 물론, 흙은 표면적의 5%이하, 모서리 결손은 콘크리트 면적의 3%이하인 양호한 품질의 제품을 생산할 수 있다. 제품의 종류는 모양과 용도에 따라 구분하며, 위에서 언급한 바와 같은 기능을 최대로 발휘하고, 목표를 달성할 수 있는 성능을 갖춘 기초 저단부·기본블럭·연결용 중간블럭·유수실용 중간블럭 요소로 구성하여 각기 다른 현장 여건에 알맞게 설치할 수 있도록 적합한 여러 종류의 규격 제품을 생산할 수 있도록 한다.

### 3.2 제품개발의 필요성 및 동향

우리나라에는 여러 가지 해안구조물들이 방파·내파를 목적으로 단순한 구조 및 형태로 최근까지 설계·시공되고 있는 실정이다. 일반적으로 해안구조물은 염해에 의한 철근콘크리트 구조물의 내구성 저하로 인해 그 수명이 짧다. 호안·제방·물양장·방파제 등 주요 외곽시설의 축조에 사용되고 있는 피복석이나 단조로운 형태의 구조물을 획일적으로 시공함으로써 자연적이고 환경적인 친화성이 결여되어 있다. 해안침식 방지용 구조물은 국부적인 해안침식보호의 물리적·환경적 조건에 대한 폭 넓은 이해 없이는 설계·개발될 수 없다. 설계를 지배하는 요소들 중에는

천문조와 조석에 따른 조위, 바람과 파랑, 해수의 흐름, 해저측량과 지형형상, 연해영역 및 지반이 포함된다. 이중 설계조위는 지구·달·태양의 위치변화에 따른 인력작용에 의한 천문조, 폭풍압과 기압차에 의한 해수면 상승과 연관된 폭풍 조석, 화산 폭발 또는 대륙붕괴, 해저지진에 의해 발생하는 쓰나미(tsunami)등의 영향을 받는다.

본 과제는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 제품을 개발하여 최근의 이상기후에 의한 지구 온난화 현상 및 기상이변 등에 의한 해수면 상승 등으로 향후 한반도 연안에 예견되는 크고 작은 해안의 침식으로부터 발생될 피해를 최소화시키고자 한다. 또한 이는 경제·산업적 중요성이 증대될 것인 바, 해안을 보호하고 침식을 방지할 수 있는 다목적·다기능의 해수 유통 구조물을 개발하는 것이 필요하게 되었다.

기존의 호안 구조물은 해안에 사석 경사제나 단순 구조물 설치로 해수의 순환방해에 의한 해안침식 및 항내 오염현상이 심각한 실정이다. 이들 구조물은 폐쇄적 특성으로 항내 해수유통 기능저하에 의한 수질 오염 상태가 심각하고, 단순 사석이나 구조물 시공에 의한 친수성 부족 및 친환경성의 고려가 아주 미미한 실정이다.

일본의 경우 매몰 방지대책으로 사용되는 구조물로는 항구 및 월파에 의한 연안표사의 방지공으로 방파제와 방사제가 사용되고, 하구로부터의 유하토사 침입을 방지하기 위한 도류제 등이 있는데, 이는 이시마(井島)와 아오노(靑野)의 2차원 실험수로에서 해변에 부착되기 쉬운 모래 입경을 심해파 파형경사의 크기에 따라 제안하였다. 이들 방지공의 보조적인 역할을 위해 설치되는 방사제는 양측으로부터의 표사가 항로에 침입하는 것을 방지하기 위해 상류에서의 표사저지 능력을 높이고자할 때 자연해안에 침입하는 토사를 퇴적시키고자할 때 설치되었다. 또한 지진, 쓰나미, 폭풍해일, 태풍 등의 자연재해로부터 해안이 자주 침식을 받아 피해를 입고 있어 해안선의 약 34% 정도가 해안벽, 방사제, 방파제 등의 콘크리트

구조물로 덮여져 있다. 이러한 해안구조물은 여가선 용을 위한 해변공간의 보호, 하구 또는 항만 입구에서의 표사퇴적, 해안절벽이나 모래해변위의 해빈침식, 폭풍해일이나 쓰나미에 대비하기 위한 특별한 목적을 위해 다양하게 채택된다.

### 3.3 제품개발의 목표

본 과제는 해안침식 방지용 해수유통 구조물의 개발을 위해 표 5와 같은 안정성·경제성·환경성 측면에 개발목표를 두고, 기존 구조물과 비교해 우수성이 입증될 수 있도록 한다.

또한, 전술한 바와 같은 여러 가지 문제·미비점들을 해결하기 위해 해안의 침식방지를 위한 블록에 특별히 해수의 유통구를 설치함으로써 다기능·다용도로 사용할 수 있도록 개발하고자 한다. 해안침식·매물 보호방지용 해수유통 구조물은 기초 저단부·기본블럭·연결용 중간블럭·유수실용 중간블럭을 구성요소로 하여 개발하고, 필요한 곳에 알맞게 조합·설치함으로써 소기의 목적을 달성할 수 있도록 한다. 기본블럭 상부면의 일단면에는 밀림방지용 단차부를 설치하여 블럭을 경사면에 연속적으로 조적시공시 배압력에 의해 블럭이 전면으로 밀려나가는 것을 방지하도록 한다.

블럭의 전면부에서 후면부까지 블럭의 내부에는 원형이나 각형의 해수유통구를 한 개 또는 여러 개를

설치하여 해수의 원활한 유통이 가능하도록 한다. 중간블럭은 연결용 블럭과 유수실용 블럭으로 구성되며, 블럭의 내부공간에 일정한 간격으로 한 개 또는 여러 개의 원형이나 각형의 해수유통관을 매립시킨다. 연결용 중간블럭에는 한쪽 또는 양쪽단면에 결속력을 크게 하기 위해 연결관 접속공간을 한 개 또는 여러 개를 배치한다. 블럭외측의 일단면에는 서로 잘 맞물려 결속력을 크게 하기 위해 결속용 돌출부·오목부를 설치한다.

### 3.4 제품개발 및 모형실험

본 과제에서는 기초 저단부, 기본블럭, 연결용 중간블럭, 유수실용 중간블럭으로 구성된 해안침식 방지용 해수유통 구조물을 구성요소로 개발하고, 이들에 대한 안정성과 기능성 및 시공성 등을 검토·분석한다. 이를 위해 그림 2와 같이 급경사(1:1.5)형 및 완경사(1:2.6)형 소파 구조물을 축조함으로써 기본블럭, 중간블럭, 연결용 유수공간 블럭 등으로 구성된 개발제품의 강도와 현장 시공성을 실험을 통해 확인한다.

구조물은 시멘트와 모래의 무게 비를 1:2로 하고, 적당량의 물과 배합하여 거푸집에 넣은 후 진동시켜 기포를 제거한다. 약 24시간 정도 공기 중에 놓았다가 거푸집을 제거한 후 수중에서 양생 등을 통해 모형을 1차적으로 제작하여 그 효율을 검토하기 위한

표 5. 기술개발목표와 호안구조물 비교

목표	본 제품의 해수유통 구조물	기존 구조물
제품의 안정성 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>수리모형 실험·분석을 통해 입증</li> <li>안정성 실험결과·분석으로 입증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 수리모형 실험결과 참조</li> <li>기존 안정성 검토결과 참조</li> </ul>
사업의 경제성 제고	<ul style="list-style-type: none"> <li>마운드 및 피복 사석량 획기적 저감</li> <li>조립구조에 의한 시공성 탁월</li> <li>안정적 구조에 의한 제반 비용 저감, 유지보수 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심 깊을 때 사석재 사용 많고, 파고에 따라 천단고가 커짐</li> </ul>
구조물의 환경성 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장여건에 따라 다양한 순환기능 제공으로 항내수질 개선효과 탁월</li> <li>해수의 원활한 순환에 의한 해안침식 방지효과 탁월</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>해수 순환기능이 미흡해 항내 수질오염 심각</li> <li>해수의 흐름방해로 해안침식 발생 심각</li> </ul>

표 6. 수리모형 실험의 입사파 조건

Ts (s)	통수구 개방				통수구 폐쇄			
	급경사(1:1.5)		완경사(1:2.6)		급경사(1:1.5)		완경사(1:2.6)	
	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)
0.9	○	—	○	—	○	—	○	—
1.0	○	—	○	—	○	—	○	—
1.1	○	○	○	○	○	○	○	○
1.2	○	○	○	○	○	○	○	○
1.4	○	○	○	○	○	○	○	○
1.6	○	○	○	○	○	○	○	○
1.8	○	○	○	○	○	○	○	○

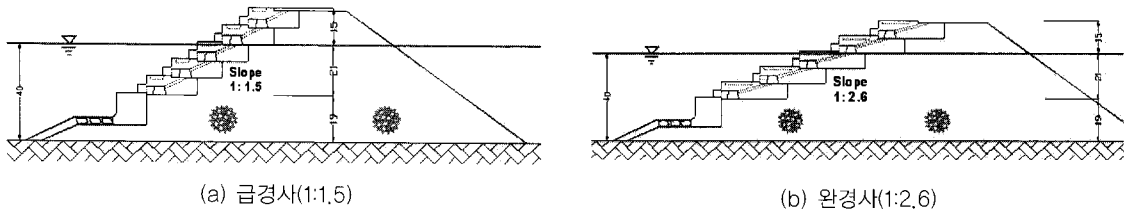


그림 2. 해수 유통 구조물의 모형실험 배치



그림 3. 해수유통 구조물의 기능별 · 용도별 설치 예

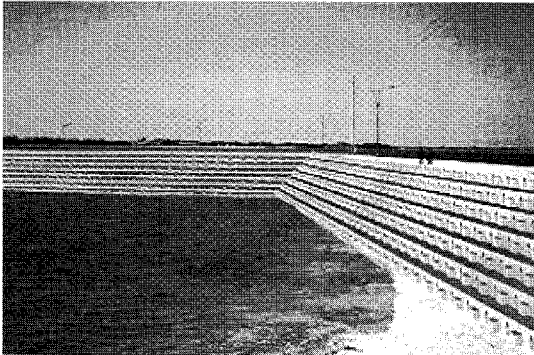
수리모형실험을 수행한다. 수리모형 실험은 표 6과 같은 파랑조건을 사용하고, 그림 2와 같이 완경사와 급경사 모형의 통수구 개방 및 폐쇄에 대해 각각 4가지 조건을 적용하였다.

그림 3은 해수유통 구조물을 이용하여 기능별(해수의 내외수역 수평이동용 및 해수의 내수역내 역류방지용) 및 용도별(해안보호용 및 친수공간 확보용)로 시공할 때의 설치 예이다.

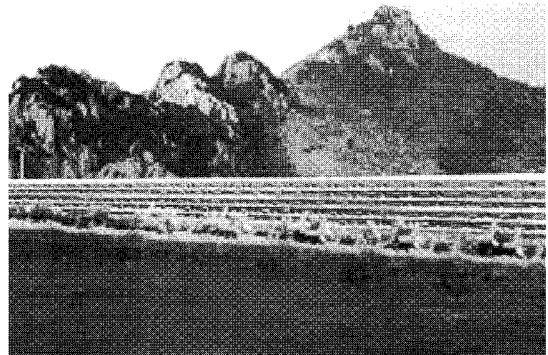
그림 3에서와 같이 고안된 해수유통 구조물은 해수면의 변위에 따라 해수가 원활히 유통되고, 내향에서의 최저요구 수심까지 해수가 유입되어 내해의 저부 · 중앙부 · 상부 등 전 단면에 걸쳐 해수가 유입되

는 구조체를 제공함으로써 해수의 원활한 순환이 가능하도록 한다. 이는 기존 호안구조물의 대부분 방법이 하단부에 마운드를 설치하여 많은 피복석을 필요로 하는 것에 비하면 경제적인 측면뿐만 아니라, 시공의 용이성 등에서 비교 우위가 가능하다. 그림 4는 해안침식 · 매물 및 파랑방지용 환경보전형 구조물(제방 · 호안, 방조제 · 방사제 · 방파제)의 설치 예이다.

그림 4와 같이 외해에서 내해로 또는 내해에서 내해로, 외해에서 외해 등으로 광범위하게 해수를 유통시킬 수 있는 구조물로 시공 가능하도록 고안하며, 블럭의 각 층별 해수유통 구조를 제공하여 수위변화에 따라 해수유통이 원활하도록 한다.



(a) 제방 및 호안 등



(b) 방사제 및 방파제 등

그림 4. 해수유통 구조물의 외곽시설 예

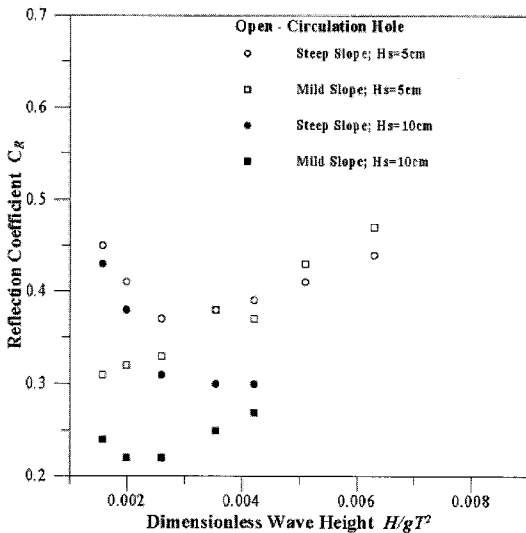
### 3.5 현재의 과제진도

#### 3.5.1 모형실험 결과

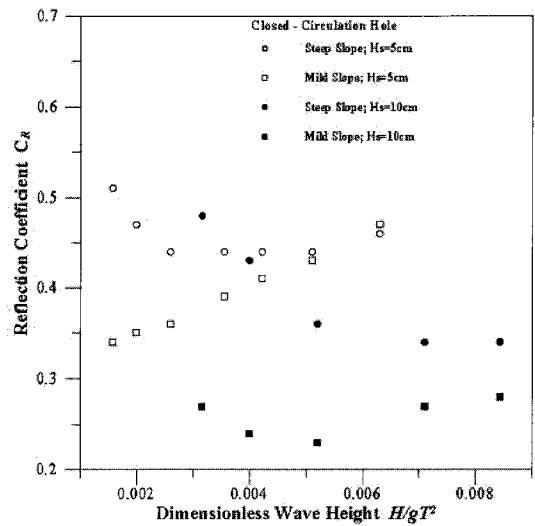
모형실험을 위한 다목적 수리실험장치는 수조의 길이 53m, 높이 1.25m, 폭 1m의 크기로서 수조의 상류쪽 13m와 하류쪽 7m 구간은 양측벽이 철제로 되어 있고 나머지 중앙부분 33m의 양측은 강화유리로 되어있어 거의 모든 실험구간의 관찰이 가능하도

록 하였다. 또한 수조폭 1.0m를 6:4로 분할하고 넓은 쪽에 구조물을 설치하여 반사율을 측정할 수 있도록 하였으며, 조파기의 특성은 표 7과 같다.

실험결과는 그림 5와 같이 통수구를 개방했을 때의 반사율은 0.5이하로 나타났으며, 각 조건에서 유의 파고가 10cm이고 유의주기가 0.9s, 1.0s인 경우의 모형실험에서는 모형전면에서 쇄파되어 입사파가 재현되지 않았다.



(a) 통수구 개방



(b) 통수구 폐쇄

그림 5. 반사율 모형실험 결과

### 3.5.2 시작품 제작

현재의 과제진도는 2차년도 중반에 이르고 있으며, 그림 6과 같이 근고블록과 기본블록 및 중간연결블록의 시작품이 제작되었다. 이들 시작품을 대상으로 그림 7과 같이 전단키 시험과 현장 적용성 및 모형 실험 결과를 분석하고 있다.

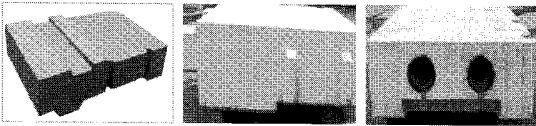


그림 6. 호안블록의 시작품



그림 7. 시작품의 전단키 시험

## 4. 기 개발제품의 성능시험 및 활용성 검토

산학협력실 운영 협력기업이 기 개발한 해안침식 방지·보호용 친수 호안블록은 근고블록과 기본블록으로 구성되어 서로 교호되게 시공되는 구조로서 부등침하 저항성을 향상시킨 구조물이다. 블록의 외측 면부에 설치된 전단키에 의해 결속력을 증대시켜 파력에 의한 제체의 변위를 최소화 하고 계단형 구조로 친수성 및 접근성이 제공되며 상부 노출면에 식생부를 조성하여 자연친화적인 특성을 지니고 있으므로 기존 연안 호안구조물들의 제반 문제점을 해소하는 특성을 지니고 있다. 다만 연안침식방지 호안구조물로서 장기적인 거동과 수리적인 특성인 반사율, 월파량, 월파고 등에 대한 평가가 요구되어, 개발 구조물이 기존의 해안 호안구조물보다 경제성, 시공성 및 안정성이 우수하다는 것을 검증하기 위해서 문헌조사 및 현장조사를 실시하고, 모형실험을 통한 수리특성

분석과 안정성 검토 및 식생·침식 현장시공 실험을 통한 성능과 적용성을 검토하고자 한다.

### 4.1 연안침식 방지대책

기존 연안침식 대책 기술은 연안방호 기술로 육지 쪽 비탈면에 직립호안이나 일정 공극률 이상의 월파 및 반사파 기능이 내재된 삼각 블록, TTP, X-Block 등을 축조하여 파랑이나 흐름에 의한 배후지 토사유출을 방지하고자 하는 것으로 고조 대책의 목적을 겸해서 건설되고 있다. 이와 같은 기존 기술들은 기형적 형상에 의해 사람들의 접근이 어려운 형상이며, 세굴에 의한 제체의 변화로 블록의 유실률이 높아 하자 발생빈도가 높다. 또한 환경적 배려도 미흡하여 아름다운 해안 전경을 해치고 있는 실정이다. 이러한 제반 문제점을 보완한 연안침식 방지 친수호안 블록은 계단형 구조로 친수공간을 제공하고 근고블록과 상부 기본블록으로 구성되어 서로 교호되게 시공되는 구조를 취하여 부등침하저항성이 탁월하고 일정공간에 식생이 가능하며 자연친화적이다.

본 연구에서의 연안침식 방지 친수호안 블록의 시공 방법은 다음과 같다. 우선 터파기를 한 후 레벨을 맞추고 그림 8(a)와 같이 근고블록을 설치한다. 근고블록과 근고블록 사이의 상부에 교호되게 기본블록 1단을 그림 8(b)와 같이 설치한다. 블록의 높이를 맞추어 레벨용 잡석을 포설한다. 그 후 기본블록의 상단에 그림 8(c)와 같이 2단계 기본블록을 설치한다. 2단 기본블록 또한 하단 기본블록과 교호되게 시공한다. 같은 방법으로 원하는 계획고까지 시공한다((주)한길, 2005).



(a) 근고블록 설치 (b) 기본블록 1단 설치 (c) 기본블록 2단 설치

그림 8. 친수호안 블록의 설치도



### 4.2 모형실험

모형실험에서 모형과 원형 사이의 상사율은 Froude법칙(Michale, 1972)을 사용하였으며, 친수 호안블럭의 적용현장과 실험실의 규모를 고려하여 축척은 1/10로 하였다. 미소진폭파 이론에 근거하여 모형의 축척(John, 2000)은 연직 및 수평방향 공히 1/10로 하였다. 중력이 유체의 운동을 주로 지배하므로 유체의 점성이나 표면장력 등의 영향은 무시할 수 있을 정도로 작아 모형과 모형사이의 상사관계는 Froude 상사율에 의해 지배된다.(Teng, 1984; Sorensen, 1997)

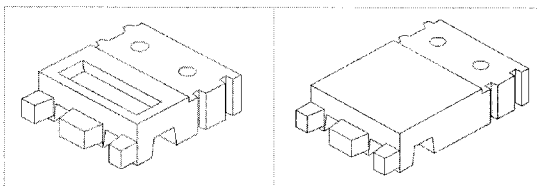
또한, 실험파는 불규칙파로서 반사파 흡수필터를 가동하여 파가 재반사 되는 것을 방지하였고, 호안블럭 구조물 전면 해저면이 평탄한 구간에서 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼에 맞도록 보정한다.(Bretschneider, 1968; 차영기 등, 2003)

해안침식방지 친수호안블럭의 모형은 항만 및 어항설계기준(해양수산부, 2003)을 적용하여 반사율 실험을 위한 모형은 그림 9(a)와 같은 급경사(1:1.5) 유공형, 그림 9(b)와 같은 완경사(1:2.6) 유공형을 제작하고, 월파랑, 월파고 실험을 하였다. 실험용블럭은 시멘트와 모래의 무게비를 1:2로 하고, 적당량의 물과 배합하여 거푸집에 넣은 후 진동시켜 기포를 제거하며, 약 24시간정도 상온 공기 중에서 경화시키고 거푸집을 제거한 후 수중에서 양생하였다.

모형실험은 표 6과 같은 실험조건을 적용하였고, 연안침식 방지 친수호안 블럭의 안정성을 검토하기 위해 2차원 파랑흐름 복합 수조에 파랑조건과 상사율

등을 적용하여 수리실험을 실시하였다((주)한길, 2005). 실험항목은 개발블럭의 성능파악을 위하여 파 에너지의 흡수정도를 판단할 수 있는 입사파고에 대한 반사파고의 비인 반사율을 측정하고 안정성을 검토하였으며, 배후지의 안정성 확보를 위한 월파랑과 월파고 측정을 위하여 주어진 실험조건에서 최대 파랑을 재현하여 실험용 모형호안 블럭에 적용시켰다. 본 반사율과 안정성 실험에 사용한 호안블럭단면의 크기는 급경사인 경우 가로 24.2cm, 세로 20cm, 높이 8cm이며, 완경사인 경우 세로와 높이는 급경사와 동일하며 가로는 33.2cm이다. 이들 두 경우 모두 블럭 정면에 사다리꼴 모양의 1차 쇄파대가 3개소 형성되어 있고, 쇄파대 사이에는 2개소의 유입구가 형성되어 블럭의 내부에 형성된 T형 분쇄구와 연결되어 1차 쇄파대를 통과한 잔여 파 에너지를 흡수, 분산시키는 구조이다. 최종적으로 블럭의 상하로 연결되는 직경 25cm의 통수구가 2개소 설치되어 블럭의 내부로 유입된 파 에너지를 최대한 분산, 흡수시키도록 구성하였다. 또한 실 도면상 블럭의 측면에 수직으로 2개의 전단키가 있으나 모형제작 시 복잡한 형상으로 그 부분은 제외한 모형으로 실험을 수행하였다. 다목적 수리실험장치의 조파기의 특성은 표 7과 같다.

입사파랑 스펙트럼은 구조물에서 조파기 방향으로 8.2m의 위치에서 측정한 파고좌표로부터 계산하였다. 관측기는 용량식의 길이 100cm 파고계와 AD및 D/A 컨버터, 16채널의 ADC와 4채널의 DAC파고계, 기타 계측기로부터의 아날로그 형태로 출력을 디지털로 변환하여 기록하고 컴퓨터에서 디지털 조파시그널



(a) 급경사(1:1.5) (b) 완경사(1:2.6)

그림 9. 수리 모형실험용 모형

표 7. 수로 및 조파기 특성

구분		실험시설 및 장비
수로 제원		53m(L)×1.0m(W)×1.25m(H)
조파기 성능	조파판 크기	0.995m(W)×1.25m(H)
	최대파고	0.3m
	재현주기	0.8s~2.8s
	최대수심	1m
구동방법		전기유압 피스톤식

표 8. 조건별 수리모형실험의 반사율

Ts (s)	통수구 개방				통수구 폐쇄			
	급경사(1:1.5)		완경사(1:2.6)		급경사(1:1.5)		완경사(1:2.6)	
	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)	Hs=5.0(cm)	Hs=10.0(cm)
0.9	0.44	-	0.47	-	0.46	-	0.47	-
1.0	0.41	-	0.43	-	0.44	-	0.43	-
1.1	0.39	0.30	0.37	0.27	0.44	0.34	0.41	0.28
1.2	0.38	0.30	0.38	0.25	0.44	0.34	0.39	0.27
1.4	0.37	0.31	0.33	0.22	0.44	0.36	0.36	0.23
1.6	0.41	0.38	0.32	0.22	0.47	0.43	0.35	0.24
1.8	0.45	0.43	0.31	0.24	0.51	0.48	0.34	0.27

을 아날로그 형태로 변환하여 조파기에 보내기 위해 사용하였다.

실험결과는 표 8과 같으며, 각 조건에서 유의 파고가 10cm이고 유의주기가 0.9s, 1.0s인 경우의 모형실험에서는 모형전면에서 쇄파되어 입사파가 재현되지 않았다(한재명과 오영민, 2007).

수리모형실험시 모형은 수로 폭 0.6m인 광수로의 조파기로부터 32.4m 지점에 설치하였고, 모형전면에서 조파기 방향으로 7.2m 구간의 평탄한 구간에서 파고계 3개를 설치하였으며, 계측한 자료를 사용하여 입사파를 재현, 반사율도 동시에 측정하였다. 경사에 따른 모형 블럭은 수중으로 3단, 수면위로 2단, 총 5단으로 설치하여 입사파에 대해 월파를 허용하지 않았으며, 파가 닿지 않는 아래 부분에는 일반콘크리트 블럭을 설치하였다. 또한 이들 실험조건에 추가하여 유의파고 7.5cm, 11cm일 때 주기 1.6s, 2.6s의 실험 파 조건으로 침식방지 친수호안 블럭의 배후지 안정성 확보를 위해 본 연구에서 개발된 침식방지 친수호안 블럭과 일반블럭의 월파량, 월파고에 대한 비교

실험을 실시하였다.

침식방지블럭 모형과 급경사 일반블럭 모형에 대하여 월파특성을 파악하기 위해 모든 실험 조건에 대해서 침식방지 블럭 및 일반 계단블럭에 대하여 실험을 수행하였다. 호안블럭 모형은 수심 42.5cm에 5단으로 설치되었으며, 모형뒤쪽에는 뒷채움 사석을 쌓았다. 호안블럭의 4단까지는 정수면 아래 위치하며 가장 윗 블럭은 정수면 위에 위치한다. 호안블럭의 수리특성을 효율적으로 평가하기 위하여 수조의 종방향으로 연직분할판을 설치하여 수조를 폭 0.4m의 협수로와 0.6m의 광수로로 분리하고 호안블럭 모형은 폭 0.6m의 광수로에 설치하였다. 월파량은 최상부 호안블럭위에 월류수로를 배치하고 월류 수로의 끝단에는 플라스틱 용기를 설치한 후에, 조파시간동안 용기에 모인 수량을 계측하여 평가하였다.

표 9는 침식방지 친수호안 블럭과 일반 계단블럭의 월파고를 비교한 결과이다. 모든 실험조건에서 연안침식방지 친수호안 블럭보다 일반 계단블럭의 월파고가 크게 나타났다. 평균적으로 일반 계단블럭의 월

표 9. 친수호안 블럭과 일반 계단블럭의 월파고 비교

Hs (cm)	Ts(s)	침식방지용블럭				일반계단형블럭			
		$\eta_{mean}$	$\eta_{1/3}$	$\eta_{1/10}$	$\eta_{max}$	$\eta_{mean}$	$\eta_{1/3}$	$\eta_{1/10}$	$\eta_{max}$
7.5	1.6	2.35	3.77	4.27	5.10	3.43	5.85	7.74	10.62
7.5	2.6	2.57	4.38	5.65	8.60	4.68	8.51	10.59	15.04
11.0	1.6	3.12	5.12	6.49	8.03	5.35	8.95	11.70	16.02
11.0	2.6	3.73	6.79	8.90	11.47	6.55	11.12	13.74	16.58

파고가 연안침식방지 친수호안 블럭에 비해 75% 증가하였다(이종석과 한재명, 2007).

또한, 안정성을 검토하기 위하여 주어진 수심에서 재현 가능한 최대유의 파고 25cm( $H/h = 0.625$ ), 유의 파주기 2.0s와 2.6s를 작용시켰다. 이는 현장에서 각각 파고 2.5m에 주기 6.32s와 7.9s를 의미하며 각각  $H/gT^2 = 0.0064, 0.0041$ 로 Goda(1985)에 의하면 쇄파조건에 해당한다. 실험을 급경사에 대해서만 실시하였는데 구조적으로 완경사는 급경사보다 안정하므로 급경사에서 안정하면 완경사도 안정한 것으로 판단하였다. 실험결과 육안으로 볼 때 블럭의 움직임은 전혀 없었는데 뒷채움 사석 때문에 미끄러짐이 일어나지도 않았으며 양압력에 의한 상하이동도 감지하지 못했다. 보통 양압력은 구조물의 바닥이 막혀 있을 때 가장 크게 작용하는데, 본 연안침식 방지 친수호안 블럭은 전면부의 바닥이 개방된 구조이고 상부와 하부로 연결통로가 설치된 상태이기 때문에 양압력은 거의 작용하지 않는다고 할 수 있다

### 4.3 현장 실험

#### 4.3.1 식생 실험

식생 현장실험은 경상남도 하동군 중평항 해안도로 신축공사 현장에 2006년 5월 7일부터 2006년 5월 25일까지 18일간에 총연장  $L=150m$  구간을 실험시공 하였다. 그림 10은 식생부 관련 상세도로서 식생부의 크기는 가로 1,600mm×세로 400mm×깊이 200mm이고, 사각형 단면에 직경 20mm의 배수구가 형성되어 있으며, 블럭 계층별 1단의 높이는 70cm이다.

그림 10의 ①구간은 항시 파가 내습하는 구간이고, ②구간은 만조 시 파가 닿는 구간이며, ③구간은 파의 영향이 태풍 시 외에는 큰 영향이 없는 구간, ④구간은 예상 설계파 이상의 구간으로서 파의 영향이 거의 없는 구간이다. 본 실험에서는 ②구간에 자연석을 설치하였고 ③ 및 ④구간에는 잣나무, 철쭉, 잔디를

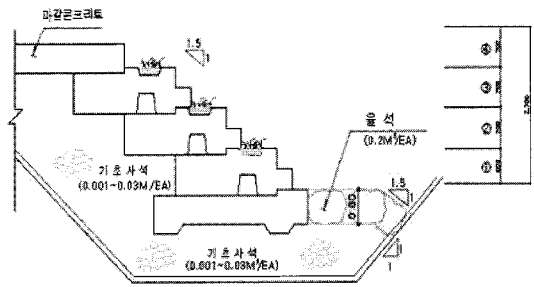
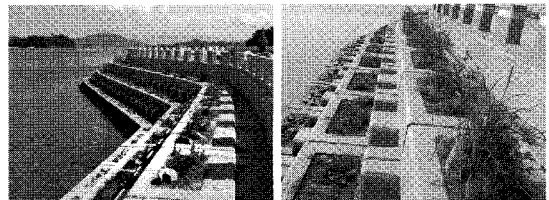


그림 10. 식생 현장실험

식재하였다. 또한 콘크리트가 낮 동안 흡수한 잠열과 갈수기 동안 토질의 건조로 인하여 식물이 수분부족으로 고사하는 것을 방지하기 위하여 버섯 재배농장에서 일정기간동안 버섯재배에 사용한 후 버려지는 흙을 시공현장 흙과 약 1:1로 배합하여 성토하였다. 버섯재배농장에서 버려지는 흙속에는 보통 흙과, 석회, 벚짚, 벤토나이트(bentonite) 등의 성분이 있어 수분을 장기간 동안 담수 할 수 있는 특징이 있으므로 버섯재배농가에서 쓰고 버려지는 흙을 재활용 하였다.

그림 11(b)는 현장시공 후 약 1년이 경과된 것으로 관리를 하지 않는 상태에서도 식물들이 잘 성장하는 것을 확인할 수 있었다. 특이사항은 그림 10의 ③구간과 ④구간에 처음에는 육상 식물들을 식재하였으나, ④구간에서는 처음 실험 식재한 잣나무와 철쭉도 생육되고 있었으며, 피, 쑥, 질경이, 갯씀바귀 등 여러 종류의 새로운 식물들이 자생하는 것을 확인 할 수 있었고, ③구간에서는 바닷물의 영향에 의해 처음



(a) 시공직후

(b) 시공 1년경과 후

그림 11. 식생 현장실험

식재 하였던 육상식물은 모두 사라지고 염생식물인 함초, 칠면초, 지체 등이 새롭게 착생되어 번식하는 것을 확인 할 수 있었다.

### 4.3.2 침식 방지실험

연안침식 방지 현장실험은 개발제품의 현장 적용성을 검토하기 위해 전라남도 진도군 가계해수욕장 해변에 2006년 7월 26일부터 2006년 7월 31일까지 1주일 동안 실험 시공하였다. 연안침식 방지블럭은 4단×50m를 설치하였다. 이 구간은 매년 침식이 발생되어 종래에 사석재로 설치되었던 호안이 붕괴되었으며 가계해수욕장의 백사장 모래의 유실률이 높고 또한 일부 구간에서는 토사포락과 같은 현상도 발생되고 있는 상황이었다. 그림 12는 시공전후의 시간경과에 따른 침식방지 효과를 나타낸 것이다.

이와 같이 시공 후 3개월, 7개월, 12개월 동안의 현장조사 결과는 시간이 흐름에 따라 그림 12(d)와 같이 블럭의 한 계단이 모래로 뒤덮여 있는 것을 알 수 있다. 본 블럭의 높이는 80cm이나 하단블럭과 상부블럭의 중첩높이가 10cm로 최소 70cm이상 모래가 퇴적된 것을 확인할 수 있었다.

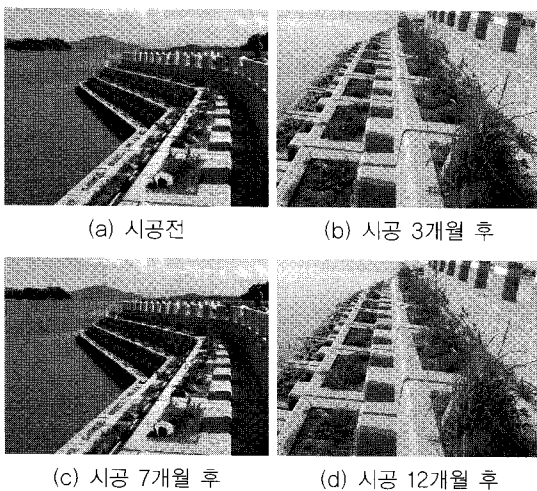


그림 12. 침식방지 현장실험

### 4.3.3 결과 분석

현장적용성 실험결과 식생실험은 식생부 단면결정 시 식물들이 근착할 수 있는 최대한의 공간조성을 위해 블럭에 구조적 문제가 발생하지 않는 깊이인 20cm의 식생부 깊이를 설정하였고, 보통 흙이 아닌 영양토인 버섯재배 농장의 흙을 활용하여 초기에 빠른 식생과 안정적 식생이 되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 10의 ③구간에서는 바닷물의 영향에 의해 육상식물은 모두 사라지고 염생식물들이 새롭게 자생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 10의 ④구간에서는 여러 종류의 새로운 식물들이 자생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험구간은 해안도로 공사 현장으로서 대형 태풍이나 설계과 이상의 큰 파가 내습하지 않는 기간 중에는 여러 종류의 식물들이 잘 생육되어 콘크리트로 인한 비 환경친화적 문제점들을 다소 해소될 것이라 생각되며 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 침식방지 실험의 시공위치는 가계해수욕장 끝단부로 이지점부터 침식이 발생되어 백사장 전체가 유실될 수도 있었으나 현재 본 지점부터 다시 퇴적이 진행되어 백사장의 사빈이 안정성을 회복하는 것으로 분석되었다. 기존의 완경사 호안블럭은 구조상 경사면 끝에서 속채움 토사가 쉽게 유출되고 직립호안에 비해 월파량이 증대하여 방호효과가 낮다는 지적이 있듯이 속채움 토사의 유실은 결국에는 호안붕괴의 직접적인 요인이다. 따라서 개발블럭은 기초단에 사용되는 근교블럭의 하단형상을 지면과의 마찰력 증대와 세굴방지를 위해 요·철을 형성하였으며, 기초단부터 입사하는 파의 에너지를 완충시켜주는 구조로 시공되어 근본적인 침식의 발생원인중 하나인 세굴현상을 억제하고 반사파와 월파량, 월파고 성능이 양호하여 짧은 시간에 많은 양의 모래가 퇴적되었다. 계절성 요인에 의하여 퇴적되었는지의 여부를 확인하기 위하여 시공 후 1년 이상의 관찰결과로 계절적 요인에 의하여 일시적인 퇴적은 아닌 것으로 판단되나 지속적으로 해빈양상 변화를 현장관측 조사하여 침식방

지 호안구조물로서 향후 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

## 5. 결론

본고는 대학과 산업체간의 긴밀한 산학협력체제를 구축하여 운용되는 산학협력실을 통해 수행되고 있는 연구개발과제를 중심으로 기술하였다. 산학협력실은 해안의 침식·보호문제를 해결하기 위해 환경친화형 해안보호 호안블럭을 개발하고, 이를 제품화 하는데 학부생과 대학원생들에게 연구참여 기회를 부여하는 것은 물론, 연구참여 재학생들의 졸업시 취업수혜 및 협력기업의 고용증대 효과에도 기여할 수 있을 것이다.

또한, 협력기업이 기 개발한 호안블럭의 수리모형 실험에서 호안블럭의 안정성은 수리모형실험의 주어진 수심에서 재현 가능한 최대 유의파고 25cm, 유의 파주기 2.0s와 2.6s를 적용하였을 때 블럭의 움직임이나, 활동 및 양압력에 의한 상하이동이 없었으며, 월파고 실험에서는 일반계단 블럭보다 개발블럭의 월파고가 75% 이상 작게 나타났다.

현장시공 실험에서는 근고블럭과 기본블럭이 세굴에 대한 안정성 및 최저단 입사파의 파 에너지를 흡수·소산시키는 구조로 반사파에 의한 침식발생 없이 안정적으로 퇴적상태가 유지되고 있는 것을 확인하였다. 현장식생 적용 실험결과와는 파가 닿지 않는 구간에서 육상식물이, 파가 닿는 구간에서는 염생식물이 자연 서식되고 있는 것이 확인되었고, 여기에 새로운 식물들이 번식되어 주변경관과 조화를 이루고 있어 자연친화적인 구조물로서의 기능이 있음을 확인하였다.

연안침식 방지를 위한 호안블럭의 현장 적용 실험 결과는 짧은 기간에 약 70cm이상 모래가 퇴적되어 해수욕장 사빈의 안정성이 회복되는 것으로 나타났다. 이것은 설치 1년이 지난 이후에도 퇴적된 상태를 유지하고 있어 계절적 요인에 의한 일시적 퇴적현상

이 아님을 반증하는 것으로써 제품의 성능과 현장 활용성을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. 이종석, 한재명 (2007). “자연친화형 해안침식방지 구조물의 안정성.” 한국콘텐츠학회 논문지, 제7권 19호, pp. 212-219.
2. 차영기, 이종석, 이대철, 김진규, 맹봉재, 김이현 (2003). 항만공학, 도서출판 새론.
3. 한재명, 오영민 (2007). “환경친화형 친수호안블럭 수리특성에 관한 연구.” 한국해안·해양공학회지, 제19호권 제2호, pp. 179-182.
4. 해양수산부 (2005). 연안침식방지기술개발 연구용역보고서(요약지침서).
5. 해양수산부 (2003). 항만 및 어항 설계기준(상·하권).
6. (주)한길 (2005). 환경친화형 친수호안블럭 수리모형 실험결과 보고서, 한국해양연구원.
7. Bretschneider C.L. (1968). “Significant Wave and Wave Spectrum.” Ocean Industry, Feb., pp. 40-46.
8. Goda, Y. (1985). Random Seas and Design of Maritime Structures, University of Tokyo.
9. John, B.H. (2000). Handbook of Coastal Engineering, McGraw-Hill.
10. Michael, E.M. (1972). Ocean Engineering Wave Mechanics, John Wiley & Sons.
11. Sorensen, R.M. (1977). Basic Coastal Engineering, 2nd ed., Chapman & Hall.
12. Teng, H.H. (1984). Applied Offshore Structural Engineering, Practical Design Methods, Formulas, and Data, Gulf Publishing Company. 📖